

УДК 502.36(045)

Ю.С. Полькова, асп.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ОБ'ЄКТІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З РАДІАЦІЙНИМИ РИЗИКАМИ

*Проаналізовано превентивні заходи регулювання техногенно-екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів, які використовуються в науково-дослідній діяльності та становлять радіаційну загрозу. Розглянуто систему їх інформаційного підтримання. Зроблено огляд існуючих програмних засобів для оцінювання радіаційних ризиків. Узагальнено дослідження щодо оцінювання радіаційної стійкості галіту для ізоляції радіоактивних відходів.*

*Preventable measurements for technogenic and ecological safety regulation for potentially risk objects that used in scientific researches and caused radiation risk were analyzed in the article. System for their information support was considered. Software for radiation risk assessment was observed. Radioactive stability of halite for radioactive waste isolation was generalized.*

**потенційно небезпечний об'єкт, радіаційний ризик, техногенно-екологічна безпека**

### Постановка проблеми

У багатьох країнах світу нині дотримуються стратегії розвитку атомної енергетики. Основними причинами популярності ядерної енергетики є обговорення нагальних кліматичних змін і виконання вимог Кіотського протоколу.

Крім екологічного фактора є й економічний, а саме низька вартість виробленої продукції.

Економічна конкурентоспроможність завжди була вирішальним фактором для прийняття рішення на користь того чи іншого виду генерації, тому і на енергетичних ринках така економічна привабливість часто є рушійною силою.

За останні роки багато країн змінили своє ставлення до атомної енергетики розвиваючи її, проєктуючи та будуючи нові енергоблоки [1]. Вичерпність природних паливних ресурсів – це ще одна проблема сучасності, яка також підвищує значущість атомної енергетики.

Важливою і невирішеною проблемою, що викликає серйозне занепокоєння бути чи не бути атомній енергетиці, є поводження з високоактивними радіоактивними відходами (РАВ).

Переважає більшість РАВ утворюється внаслідок роботи атомних електростанцій, інші припадають на медичну, транспортну, науково-дослідну та інші галузі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Установи НАН України, які залучаються до вирішення проблем атомної енергетики та здійснюють наукові дослідження у сфері ядерної і

нейтронної фізики, атомної енергетики, радіаційного матеріалознавства, фізики конденсованого середовища, радіаційної фізики напівпровідників, радіобіології, медицини мають справу з радіоактивними речовинами (РР). До матеріалів, які можуть призводити до утворення та накопичення РАВ належать:

- відпрацьовані радіоактивні джерела;
- конструкційні радіоактивні матеріали обладнання;
- ізотопи відпрацьованого ядерного палива;
- радіоактивні мінерали.

На державному рівні проблемі РАВ до недавнього часу приділялось недостатньо уваги. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні з'явилася тільки на початку 2009 р. [2]. Дотепер проводились поодинокі дослідження різних вчених, присвячені вивченню радіаційної стійкості матеріалів контейнерів РАВ та геологічних порід, придатних для ізоляції РАВ. Серед таких досліджень є й ті, що виконані автором [3–7].

Відомо, що у світі розглядають декілька перспективних варіантів геологічних середовищ для захоронення РАВ [3]:

- кристалічні (граніти – Канада, Китай, Швеція; гнейси – Фінляндія);
- глинисті (аргіліти – Угорщина; сланці, мергелі – Франція, Швейцарія; пластичні глини – Бельгія);
- вулканічні породи;
- вулканічні туфи (США);
- соляні відкладення (пластові солі – США);
- соляні куполи – Німеччина.

За участю автора було проведено дослідження імітаційного моделювання радіаційної стійкості соляних формацій з метою [4-6]:

- вивчення закономірностей накопичення та рекомбінації радіаційних дефектів у структурі опроміненого галіту;
- вивчення фізико-механічних властивостей опроміненого галіту;
- розрахунку теплових режимів у випадку розміщення контейнерів РАВ у певному геологічному середовищі.

Для цього було проведено експерименти з гамма-опромінення природного та синтетичного зразків галіту із Дніпровсько-Донецької западини до значень поглинутої дози 100 МГр.

Методом електронного парамагнітного резонансу досліджено динаміку накопичення радіаційних дефектів та кінетику рекомбінації радіаційних дефектів, які підлягали попередньому відвалу, у структурі галіту. Визначено радіаційну зміну мікротвердості, пластичності, досліджено декрепітаційну активність зразків.

За допомогою методу групового врахування аргументів побудовано математичну модель для оцінювання радіаційної стійкості галіту та ступеня пошкодження структури досліджуваного матеріалу за заданих умов.

У моделі враховано такі фактори, як зміна температури й активності джерела опромінення, час дії джерела та чутливі до впливу радіації параметри галіту на прикладі мікротвердості. Визначено концентрацію ізотопу  $Cs^{137}$  у відпрацьованому ядерному паливі реактора типу ВВЕР-1000 та функцію спаду його активності як основного джерела гамма-випромінювання у перші сто років зберігання відходів. Обґрунтовано постановку завдання прогнозування десорбції хлору з сольового масиву як одного з факторів ризику руйнівного впливу на матеріал контейнера та потрапляння РР у довкілля.

В Україні дослідженням з питань вивчення фізико-механічних властивостей, радіаційної стійкості глин, мінералів кристалічних порід, особливостей розташування геологічних сховищ присвячено роботи А.С. Литовченка, В.М. Шестопалова, П.А. Корчагіна, І.Л. Комова, Д.П. Хрушова, С.Б. Шехунової, О.М. Харитонова, І.Ф. Вовк, Ю.Ф. Руденко, Р.Я. Белєвцева, С.Д. Співак, Р.А. Пушкарьової, Е.А. Калиниченко [4-7].

У роботі [7] виділено три регіони на території України, потенційно сприятливі для ізоляції РАВ:

- Український Щит;
- Дніпровсько-Донецьку западину;
- Північно-Західний Донбас.

З багатьох причин питання щодо створення національного сховища для РАВ у геологічних формаціях все ще залишається відкритим. У наукових колах перевага віддається захороненню РАВ на території України в гранітних формаціях [3].

Чинні нормативно-правові акти, які регулюють питання поводження з РАВ, не передбачають вирішення всіх проблем. Найбільш гострими залишаються питання, пов'язані з такими чинниками [2]:

- недосконалістю системи поводження з РАВ;
- незавершеністю організаційних заходів щодо поводження з РАВ;
- браком механізму фінансування, який відповідає міжнародно визнаним принципам безпечного поводження з РАВ.

Нехтування зазначеними проблемами є джерелом [2]:

- існування невиправданих ризиків шкідливого впливу іонізуючого випромінювання на людину і довкілля, пов'язаних із використанням в Україні ядерної енергії і незавершеністю ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи;
- потенційного підвищення радіаційних ризиків у майбутньому і можливого зростання соціально-психологічної напруги в суспільстві, пов'язаних з намірами подальшого розвитку в Україні ядерної енергетики;
- ризиків для стійкого розвитку суспільства, пов'язаних з потенційними перешкодами для реалізації енергетичної стратегії України і перекладанням економічного тягаря щодо поводження з РАВ на майбутні покоління.

### Постановка завдання

У системі НАН України одночасно є об'єкти, що становлять радіаційну небезпеку (радіоактивні джерела, РАВ та ін.), потенційно небезпечні об'єкти (ПНО) та об'єкти підвищеної небезпеки, що можуть становити або становлять вибухопожежний, пожежний, хімічний види небезпеки. Звідси випливає потреба в одночасній реєстрації відповідних об'єктів НАН України в декількох державних реєстрах згідно з чинним законодавством (табл. 1) [8].

Таблиця 1

## Перелік затверджених державних (галузевих) реєстрів України для обліку небезпечних об'єктів

Назва реєстру	Призначення	Нормативно-правова база	Орган, який веде реєстр
Державний реєстр ПНО	Автоматизована інформаційно-довідкова система обліку та обробки інформації щодо ПНО	Закон України «Про страховий фонд документації». Постанова КМУ № 1288 від 29.08.02 «Про затвердження Положення про Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів»	Державний департамент страхового фонду документації
Державний реєстр джерел іонізуючого випромінювання	Єдина державна система обліку і контролю джерел іонізуючого випромінювання, що містять РР	Постанова КМУ № 847 від 04.08.97 «Про створення Державного реєстру джерел іонізуючого випромінювання». Наказ Мінекобезпеки і МОЗ № 15/7 від 18.01.00 «Про затвердження Інструкції з проведення державної інвентаризації джерел іонізуючого випромінювання»	Головний реєстровий центр створений на базі Українського державного виробничого підприємства «Ізотоп»
Державний реєстр РАВ	Елемент єдиної державної системи обліку та інвентаризації РАВ. Послідовний поточний запис актів спеціальної форми про утворення, фізико-хімічний склад, обсяги, властивості, перевезення, зберігання та захоронення РАВ	Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами», Постанова КМУ № 480 від 29.04.96 «Про Державну програму поводження з радіоактивними відходами»	Орган державного управління у сфері поводження з радіоактивними відходами – МНС, регіональні центри обліку РАВ, створені на базі відповідних міжобласних спецкомбінатів Українського Державного Об'єднання «Радон»
Державний кадастр сховищ РАВ	Зведення систематизованих відомостей про об'єкти, призначені для зберігання чи захоронення РАВ у єдину інформаційну експертну систему даних про місцезнаходження, кількісну та якісну характеристику сховищ РАВ		

Така ситуація призводить до фактично неурегульованих питань з безпеки об'єктів НАН України і потребує удосконалення системи управління техногенно-екологічною безпекою (ТЕБ) об'єктів науково-виробничої діяльності з метою попередження та запобігання виникнення надзвичайних ситуацій (НС).

Для цього необхідно забезпечувати виконання таких заходів, як регулювання техногенної безпеки, аналіз та оцінювання ризиків НС, моніторинг об'єктів поводження з РАВ та джерелами іонізуючого випромінювання як потенційно небезпечних об'єктів.

Для реалізації поставлених завдань проводяться дослідження у декількох напрямках.

### **Забезпечення виконання державної політики у сфері техногенно-екологічної безпеки**

Механізм правового забезпечення системи управління ТЕБ ПНО був розглянутий автором у роботі [9].

До відповідних державно-правових заходів регулювання безпеки належать:

- ліцензування;
- ідентифікація;
- паспортизація;
- державна реєстрація ПНО;
- ідентифікація об'єктів підвищеної безпеки;
- декларування безпеки;
- розроблення планів локалізації та ліквідації НС;
- страхування цивільної відповідальності;
- державна стандартизація;
- державна експертиза;
- державний нагляд.

Згідно з наказом [8] в Україні діє декілька реєстрів обліку радіоактивних матеріалів та об'єктів поводження з ними (табл. 1).

Для виконання відповідних заходів щодо регулювання безпеки в Інституті геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України розробляють інформаційно-аналітичний комплекс, вивчають питання ТЕБ науково-виробничої діяльності і стану цивільного захисту установ НАН України.

До складу зазначеного комплексу входить база даних, призначена для обліку установ НАН України, науково-дослідна та виробнича діяльність яких у межах прилеглих територій може спричинити погіршення стану довкілля, створювати певну небезпеку для проживання та здоров'я населення, викликаючи підвищений екологічний ризик [10].

Для наповнення та забезпечення функціонування розробленої бази даних збирається інформація про стан ПНО та інших техногенних та природних джерел безпеки, що мають відношення до об'єктів майнового комплексу НАН, здійснюється розподіл установ НАН за ступенями ризику від провадження їх господарської діяльності.

### **Реалізація превентивних заходів під час роботи з джерелами радіаційної безпеки у процесі науково-дослідної діяльності**

Невід'ємною складовою системи управління ТЕБ ПНО є розгляд та оцінювання ступеня безпеки від негативного прояву тих чи інших природних небезпечних явищ та техногенних чинників, які включає в себе поняття «ризик». Відповідно до методики ідентифікації ПНО, ядерні установки, об'єкти поводження з РАВ, джерела іонізуючого випромінювання віднесені до переліку основних джерел безпеки, які притаманні ПНО [10].

Об'єктами безпеки, які потребують першочергової уваги, є ті, що мають потенційну загрозу забруднення навколишнього середовища РР.

Прогнозування динаміки поширення забруднення є важливим завданням уже на першому етапі ліквідації наслідків НС радіаційного характеру.

Втрата контролю над радіоактивними джерелами може бути зумовлена несправністю устаткування, неправильними діями персоналу, стихійним лихом або іншими причинами, які можуть призвести до опромінення людей понад установлені норми або радіоактивного забруднення навколишнього середовища [11].

Законом України № 516-VI від 17 вересня 2008 р. «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами», передбачено розроблення системи заходів, реалізація яких дасть можливість здійснювати роботу РАВ на спеціалізованих підприємствах, після проведення їх реконструкції.

Радіоактивні відходи, утворені внаслідок проведення науково-дослідної діяльності, також повинні утилізуватись спеціалізованими підприємствами. Виконання плану заходів у межах зазначеної програми потребує здійснення організаційних, науково-методичних, технічних та фінансово-економічних заходів, зокрема, проведення комплексу науково-дослідних робіт з обґрунтування вибору майданчика для геологічного сховища довгоіснуючих та високоактивних РАВ.

Успішна реалізація цієї стратегічної програми потребує безпосередньої інтеграції фахівців з питань екологічної безпеки тих об'єктів господарювання, де відбувається накопичення РАВ, зокрема установ НАН України.

Отже, під час проведення досліджень щодо удосконалення системи управління ТЕБ ПНО НАН України передбачається проведення науково-дослідних робіт з аналізу, оцінювання та мінімізації потенційних ризиків, зумовлених цими об'єктами.

Оцінюючи ризик забруднення довкілля у результаті поводження з РР у науково-дослідному процесі, можна виділити такі події, що можуть призвести до виникнення НС:

- здійснення науково-дослідної діяльності;
- порушення технологічного процесу;
- транспортування до місця утилізації;
- руйнування матеріалу контейнера;
- руйнування природного бар'єра середовища.

Для отримання кількісних значень ризику вказаних подій потрібно керуватись як нормативно-технічними документами, наприклад щодо надійності промислових споруд та комунікацій, де проводяться дослідження, транспортних засобів та контейнерів для транспортування РАВ.

Разом з тим, коректне визначення ризику виникнення події на подальших етапах потребує пошукових робіт.

Нині також простежується неузгодженість наукового та нормативно-правового забезпечення в питаннях єдиної методологічної бази щодо оцінювання ризику. Розроблена значна кількість методик і моделей оцінювання ризику для населення, майна і навколишнього природного середовища, які ґрунтуються на використанні та поєднанні феноменологічного, імовірнісного та детерміністичного методів. Така кількість зумовлена тим, що для кожної окремої ситуації зазвичай обирається конкретний метод чи методика оцінювання ризику залежно від мети і завдання, яке планують, досягнути відповідними розрахунками. Універсальної методики, яка б враховувала ризики від техногенних та природних джерел небезпеки не існує. Перелік найпоширеніших програмних засобів для оцінювання радіаційних ризиків, які ґрунтуються на різних методиках, подано в табл. 2.

### **Дослідження фізико-механічних властивостей геологічних середовищ для ізоляції радіоактивних відходів**

З огляду на масштабність проблеми, яка вивчається, постає завдання проведення попередніх досліджень з метою отримання нових знань про особливості впливу факторів, зумовлених дією РАВ певного компонентного складу, на структуру геологічного середовища.

Компонентним складом РАВ визначається вид, енергія та інтенсивність діючого випромінювання, а отже й особливості фізичних процесів, що можуть відбуватися в матеріалі контейнера та геологічного сховища.

Періоди зберігання окремих видів РАВ вимірюються сотнями років, що фактично унеможливає проведення аналогічних експериментальних досліджень.

Протягом терміну зберігання можливе протікання тектонічних процесів, які здатні в певних ділянках, зокрема в місцях зберігання контейнерів з РАВ, генерувати імпульси тиску, значення якого спричинить лавиноподібну рекомбінацію радіаційних дефектів та руйнування структури.

### **Висновки**

Отже, удосконалення системи управління ТЕБ досліджуваних об'єктів передбачає забезпечення виконання державної політики у сфері техногенно-екологічної безпеки та цивільного захисту, а саме розроблення превентивних заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям. За участю автора розроблено структуру окремих компонентів бази даних ПНО об'єктів майнового комплексу НАН України та здійснюється наповнення бази даних, проводиться моніторинг стану ТЕБ науково-виробничої діяльності установ НАН України і цивільного захисту об'єктів майнового комплексу НАН України.

Для ефективного регулювання техногенної безпеки проводяться наукові дослідження з аналізу та оцінювання ризиків НС, що можуть виникнути під час роботи з РР у науково-виробничому процесі, дослідження фізико-механічних властивостей геологічних середовищ придатних для захоронення РАВ.

Результати проведених досліджень можуть бути використані в подальшому для формування рекомендацій з напрямків підвищення рівня безпеки і для кількісного оцінювання відносної ефективності рекомендованих заходів.

Таблиця 2

**Програмне забезпечення, яке використовується для оцінювання та аналізу ризиків**

Модель	Описання	Розроблювачі
COSYMA	Комплекс комп'ютерних програм для оцінювання радіологічного впливу ядерних аварій на навколишнє природне середовище і людей, який включає розрахунок індивідуальних і колективних доз та ризиків, наслідків для здоров'я, контрзаходів, економічних витрат [11]	Forschungszentrum Karlsruhe (Німеччина) і National Radiological Protection Board (Великобританія)
CalTOX	Модель, що розраховує загальний вплив від площадок з радіоактивними відходами, визначає ризики від декількох небезпечних матеріалів для навколишнього середовища. CalTOX розраховує концентрації забруднюючих речовин і їх вплив на здоров'я. Модель включає базу даних, що містить фізичні характеристики, сценарії і дані переносу, не включена земна фауна ( <a href="http://www.dtsc.ca.gov/docs/sppt/herd/caltox.html">http://www.dtsc.ca.gov/docs/sppt/herd/caltox.html</a> )	Розроблена у 1998 р. Каліфорнійський відділ контролю за токсичними речовинами Відділення оцінки екологічного ризику (США)
MEPAS	Комп'ютерна система для аналізу розповсюдження токсичних та радіоактивних забруднювачів у природному середовищі, використовує наявну інформацію про забруднення. Розрахунки інтегрального ризику для здоров'я людей ґрунтуються на фізично обумовлених фізико-хімічних моделях джерел викиду забруднення у навколишнє середовище та шляхів їх перенесення [11]	Розроблена у 1984–1996 рр. Тихоокеанською Північно-Західною національною лабораторією «Бетелл» (США)
CONDOR	Імовірнісне оцінювання ризиків від наслідків випадкового радіоактивного викиду ( <a href="http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm">http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm</a> )	AEA, NRPB – AEA Technology (Великобританія)
SAPHIRE	Програмний засіб, який включає систему розрахункових програм для оцінки ризику та надійності обладнання ( <a href="http://saphire.ihel.gov/about/about_saphire">http://saphire.ihel.gov/about/about_saphire</a> )	1987–2004, Idaho National Engineering Laboratory (США)
OTTER	Моделі поширення радіонуклідів у воді. ( <a href="http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm">http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm</a> )	AEA Technology (Великобританія)
MASCOT	Розраховує радіологічні ризики в місцях протікання ґрунтових вод ( <a href="http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm">http://contamsites.landcareresearch.co.nz/description_of_models.htm</a> )	Nirex, Allerdale Court, Greengarth Hall, Holmrook, Cumbria (Великобританія)
RESRAD Codes	Комп'ютерна система для оцінювання радіаційних і хімічних ризиків ( <a href="http://web.ead.anl.gov/resrad/documents">http://web.ead.anl.gov/resrad/documents</a> )	Міністерство енергетики США

## Література

1. Лисиченко Г.В. Світові тенденції в розвитку атомної енергетики та її геоecологічні проблеми / Г.В. Лисиченко // Зб. наук. праць Держ. наук. центру радіогеохімії навколишнього середовища. Сер. Техногенно-ecологічна безпека навколишнього середовища. – К., 2000. – Вип. 1. – С. 185–199.
2. Законодавство. Регуляторні акти. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні. <http://www.mns.gov.ua/laws/regulations/index.ua.php?m=E1&m=D2>.
3. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины / под. ред. В.М. Шестопадова. – К.: Научно-инженерный центр, 2006.
4. Дослідження динаміки накопичення та рекомбінації радіаційних дефектів у структурі галіту методом електронного парамагнітного резонансу / А.С. Литовченко, Ю.С. Полькова, В.В. Сьомка, О.Я. Кузнецова // Вісник НАУ.– 2004.– № 1. – С. 172–175.
5. Вплив гамма-опромінення на форму лінії ЕПР F-центрів у NaCl / А.С. Литовченко, Ю.С. Полькова, В.В. Сьомка, О.Я. Кузнецова // Вісник НАУ.– 2005.– № 4.– С. 168–170.
6. Полькова Ю.С. Математичне описання складових моделі прогнозу радіаційної стійкості галіту / Ю.С. Полькова. // Матеріали VI Міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених «Політ». – 12–13 квіт. 2007 р.– С. 122.
7. Хрущов Д.П. Изоляция радиоактивных отходов в геологических формациях (геолого-теплофизическая часть) / Д.П. Хрущов, В.И. Лялько, О.М. Харитонов.– К.: ИГН АН Украины.– 1993.– 59 с.
8. Про затвердження методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів: наказ МНС № 98 від 23.02.2006 р // Офіційний вісник України. – 2006. – № 12.
9. Лисиченко Г.В. Державно-правове регулювання питань щодо системи управління техногенно-ecологічною безпекою потенційно небезпечних об'єктів Захист довкілля від антропогенного навантаження / Г.В. Лисиченко, Ю.С. Полькова, Т.В. Дудар. – Харків-Кременчук: 2008. – № 2. – С. 26–34.
10. Комп'ютерна система з ППНО (проект 7.20) / Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / В.А. Бабинець, С.М. Волошин, Г.В. Лисиченко, Б.В. Сліпченко, О.В. Фаррахов. – Ін-т електрозвар. ім. Є.О. Патона НАН України. – К. – 2006. – С. 464 – 469.
11. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та ecологічний ризику. Аналіз, оцінка. Управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К.: Наук. думка, 2008. – 543 с.

Стаття надійшла до редакції 04.06.09.